



J1017 U.S. PTO  
10/044559  
01/11/02

## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 101 01 071.0

**Anmeldetag:** 11. Januar 2001

**Anmelder/Inhaber:** Siemens Aktiengesellschaft,  
München/DE

**Bezeichnung:** Magnetresonanzgerät mit einem Gradientenspulen-  
system mit Versteifungselementen

**IPC:** G 01 R 33/385

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-  
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 04. Oktober 2001  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

Hiebinger

## Beschreibung

Magnetresonanzgerät mit einem Gradientenspulensystem mit Verstärkungselementen

5

Die Magnetresonanstechnik ist eine bekannte Technik zum Gewinnen von Bildern eines Körperinneren eines Untersuchungsobjekts. Dazu werden in einem Magnetresonanzgerät einem statischen Grundmagnetfeld, das von einem Grundfeldmagnetsystem erzeugt wird, schnell geschaltete Gradientenfelder überlagert, die von einem Gradientenspulensystem erzeugt werden. Ferner umfasst das Magnetresonanzgerät ein Hochfrequenzsystem, das zum Auslösen von Magnetresonanzsignalen Hochfrequenzsignale in das Untersuchungsobjekt einstrahlt und die erzeugten Magnetresonanzsignale aufnimmt, auf deren Basis Magnetresonanzbilder erstellt werden.

Zum Erzeugen von Gradientenfeldern sind in Gradientenspulen des Gradientenspulensystems entsprechende Ströme einzustellen. Dabei betragen die Amplituden der erforderlichen Ströme bis zu mehreren 50 A. Die Stromanstiegs- und -abfallraten betragen bis zu mehreren 50 kA/s. Auf diese sich zeitlich verändernden Ströme in den Gradientenspulen wirken bei vorhandenem Grundmagnetfeld in der Größenordnung von 1 T Lorentzkkräfte, die zu Schwingungen des Gradientenspulensystems führen. Bei einem in etwa hohlzylinderförmig ausgebildeten Gradientenspulensystem ist dabei in der Regel eine Biegeschwingung des Gradientenspulensystems dominant. Die Schwingungen werden über verschiedene Ausbreitungswege an die Oberfläche des Geräts weitergegeben. Dort werden diese Mechanikschwingungen in Schallschwingungen umgesetzt, die schließlich zu an sich unerwünschtem Lärm führen.

Eine Weiterentwicklung auf dem Gebiet der Magnetresonanstechnik, unter anderem zum Verkürzen von Messzeiten, ist mit schnellen Pulssequenzen verbunden. Diese bedingen hohe Stromamplituden sowie große Stromanstiegs- und -abfallraten in den

Gradientenspulen. Diese großen Gradientenspulenströme führen über starke Lorentzkräfte ohne gegensteuernde Maßnahmen zu einem sehr großen Lärm. Die schnellen Pulssequenzen steuern rasche und häufige Wechsel der Stromrichtung in den Gradientenspulen. Dadurch verlagern sich die dominanten spektralen Anteile der Gradientenspulenströme zu höheren Frequenzen. Hat dabei einer dieser Anteile die gleiche Frequenz wie eine Eigenfrequenz des Gradientenspulensystems, so ist die Schwingungsanregung des Gradientenspulensystems maximal und der verursachte Lärm sehr groß. Dabei ist eine derartige Anregung bei den schnellen Pulssequenzen wahrscheinlicher als bei langsameren.

Beispielsweise mit einer Erhöhung der Steifigkeit des Gradientenspulensystems kann man auf die hohen Gradientenspulenströme bei den schnellen Pulssequenzen reagieren. In der DE 198 56 802 A1 ist eine Versteifung des gesamten Gradientenspulensystems beschrieben. Dazu ist zwischen den Gradientenspulen auf der einen Seite und den Abschirmspulen auf der anderen Seite ein Segmentkäfig angeordnet, der in eine Vergussmasse des Gradientenspulensystems eingebettet ist und aus vorzugsweise axial durchgehenden Kunststoffprofilen ausgebildet ist, die zweckmäßigerweise aus faser- oder gewebeverstärktem Kunststoff bestehen können. Dabei können die Kunststoffprofile gegebenenfalls punktuell durch integrierte Faserbündel oder Matten verstärkt sein, wobei als Fasern Kohlefasern, Glasfasern oder Kevlar eingesetzt werden können, während die Matrix der Kunststoffprofile aus Epoxyharz, Polyester, Vinylester oder anderen thermoplastischen Werkstoffen bestehen kann.

Bei einer Versteifung des kompletten Gradientenspulensystems bringt eine Verdoppelung der Steifigkeit lediglich eine Erhöhung der Eigenfrequenzen um den Faktor ca. 1,4. Da bereits heute das Gradientenspulensystem ein sehr steifes Element ist, sind der Vergrößerung der Steifigkeit des Gradientenspu-

lensystems als Ganzes technische und wirtschaftliche Grenzen gesetzt.

Des weiteren sind aus der DE 44 32 747 A1 und der DE 198 29  
5 296 A1 dem Gradientenspulensystem zugeordnete Aktoren, insbesondere beinhaltend piezoelektrische Elemente, bekannt, deren Verformung derart steuerbar ist, dass bei Betrieb des Magnetresonanzgeräts auftretenden Verformungen des Gradientenspulensystems aktiv gegengesteuert werden kann. Dabei werden die  
10 piezoelektrischen Elemente durch eine an sie angelegte elektrische Spannung entsprechend gesteuert.

Eine Aufgabe der Erfindung ist es, ein in seinem Lärmverhalten verbessertes Gradientenspulensystem zu schaffen.

15 Die Aufgabe wird durch den Gegenstand des Anspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind in den Unteransprüchen beschrieben.

20 Ein Gradientenspulensystem für ein Magnetresonanzgerät gemäß Anspruch 1 umfasst länglich ausgebildete Versteifungselemente, die im Gradientenspulensystem derart heterogen angeordnet sind, dass wenigstens eine bei Betrieb des Magnetresonanzgeräts anregbare Schwingungsform des Gradientenspulensystems  
25 reduziert ist.

Dadurch ist zur Lärmreduzierung eine volumen- und kostenaufwändige Versteifung des gesamten Gradientenspulensystems verzichtbar. Durch die heterogene Anordnung von Versteifungselementen im Gradientenspulensystem wird durch die lediglich  
30 partielle Versteifung des Gradientenspulensystems, die auf bei Betrieb des Magnetresonanzgeräts anregbare Schwingungen des Gradientenspulensystems abgestimmt ist, bei geringem Materialeinsatz eine hohe lärmreduzierende Wirkung erreicht.  
35 Dabei sind bei einem vergossenen Gradientenspulensystem die Versteifungselemente derart gewählt, dass sie eine deutlich höhere Zugfestigkeit als eine Vergussmatrix aufweisen.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung weist wenigstens eines der Versteifungselemente eine mechanische Vorspannung auf, die beispielsweise durch einen entsprechenden Einbau des vorgespannten Versteifungselements erzielbar ist und/oder wenigstens einem der Versteifungselemente ist eine Vorrichtung zum steuerbaren Einstellen einer mechanischen Spannung des Versteifungselements zugeordnet. Dadurch sind die Schwingungen des Gradientenspulensystems hinsichtlich Schwingungsformen und Schwingungsfrequenzen derart gestaltbar, dass die Schwingungen in hohem Maße vom Gradientenspulensystem, insbesondere der Vergussmatrix, absorbiert werden, beispielsweise indem sich asymmetrische Restschwingungen ergeben.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung weist bei einem im Wesentlichen rotationssymmetrischen Gradientenspulensystem wenigstens eines der Versteifungselemente einen Längsverlauf auf, der wenigstens eine zur Rotationsachse parallele Gerade schneidet. Dadurch sind ähnliche Effekte wie bei vorgenannter vorteilhafter Ausgestaltung erzielbar bzw. verstärkbar.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung umfassen die Versteifungselemente Fasern und/oder Faserbündel, insbesondere aus Glas-, Kohle- und/oder Aramidfasern. Insbesondere bei einer starken Dehnung der Fasern verhalten sich die Fasern nicht entsprechend dem Hooke'schen Gesetz, womit beispielsweise durch eine mechanische Spannung der Fasern Betriebspunkte im Kraft-Weg-Diagramm der Fasern einstellbar sind, die vorgenannte Effekte begünstigen. Bei einer Verwendung von Kohlefasern ist aufgrund ihrer elektrischen Leitfähigkeit auf eine elektromagnetische Verträglichkeit mit der Magnetresonanzbildzeugung zu achten.

Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus den im Folgenden beschriebenen Ausführungsbeispielen anhand der Zeichnung. Dabei zeigen:

Figur 1 ein Magnetresonanzgerät,

Figur 2 eine Schicht eines hohlzylinderförmigen Gradientenspulensystems des Magnetresonanzgeräts und

5

Figur 3 eine Anordnung von Versteifungselementen innerhalb des hohlzylinderförmigen Gradientenspulensystems.

Die Figur 1 zeigt in einer perspektivischen Ansicht ein Magnetresonanzgerät. Dabei umfasst das Magnetresonanzgerät zum Erzeugen eines wenigstens innerhalb eines Abbildungsvolumens 19 möglichst homogenen statischen Grundmagnetfeldes  $B_0$  ein Grundfeldmagnetsystem 11. Des weiteren umfasst das Magnetresonanzgerät zum Erzeugen von Gradientenfeldern ein Gradientenspulensystem 20. Eine verfahrbare Lagerungsvorrichtung 13 des Geräts dient unter anderem dazu, einen abzubildenden Bereich eines auf der Lagerungsvorrichtung 13 gelagerten Untersuchungsobjekts im Abbildungsvolumen 19 zu positionieren. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind weitere Komponenten des Geräts, beispielsweise ein Hochfrequenzsystem, nicht dargestellt.

Das Gradientenspulensystem 20 ist im Wesentlichen hohlzylinderförmig ausgebildet und beinhaltet unter anderem eine longitudinale Gradientenspule zum Erzeugen eines magnetischen Gradientenfeldes mit einem Gradienten in Richtung des Grundmagnetfeldes  $B_0$ , zwei transversale Gradientenspulen zum Erzeugen von magnetischen Gradientenfeldern mit Gradienten senkrecht zum Grundmagnetfeld  $B_0$ , Kühleinrichtungen, Shim-Einrichtungen und den jeweiligen Gradientenspulen zugehörige Abschirmspulen.

Die Figur 2 zeigt eine hohlzylinderförmige Schicht 21 des Gradientenspulensystems 20, innerhalb derer eine der transversalen Gradientenspulen angeordnet ist. Die transversale Gradientenspule umfasst dabei vier sattelförmig ausgebildete Teilspulen 22 bis 25, beispielsweise in einer Ausführungsform

als sogenannte Fingerprint-Spulen. Ein Verlauf eines Leiters der Teilspulen 22 bis 25 ist lediglich skizzenhaft umrissen und mit exemplarisch wenigen Windungen dargestellt. Bei Betrieb der transversalen Gradientenspule werden die Teilspulen 22 bis 25 von einem gleichen Strom  $I$  durchflossen, dessen Zählrichtung durch entsprechende Pfeile je Windung der Teilspulen 22 bis 25 angegeben ist. Für die sattelförmigen Teilspulen 22 bis 25 sind zwei Sattellückenlinie 26 und 27 eingezeichnet. Bei vorhandenem Grundmagnetfeld  $B_0$  und stromdurchflossener Gradientenspule wirken auf Abschnitte des Leiters der Teilspulen 22 bis 25 Lorentzkkräfte  $F$ , die in Leiterabschnitten, die senkrecht zum Grundmagnetfeld  $B_0$  verlaufen, maximal sind. Auf Leiterabschnitten, die im wesentlichen parallel zum Grundmagnetfeld  $B_0$  verlaufen, wirken keine Lorentzkkräfte  $F$ . Dies heißt, dass die maximalen Lorentzkkräfte  $F$  in etwa entlang der Sattellückenlinien 26 und 27 wirken. Diese sind in Figur 2 durch entsprechende Pfeile gekennzeichnet. Aufgrund des sich zeitlich verändernden Stromes  $I$  bewirken vorgenannte Lorentzkkräfte  $F$  unter anderem eine Biegeschwingung des Gradientenspulensystems 20 längs einer Hohlzylinderhauptachse 17.

Vorausgehend Beschriebenes gilt in entsprechender Weise auch für die weitere transversale Gradientenspule, die bezüglich vorausgehend beschriebener transversaler Gradientenspule identisch aufgebaut ist und in einer über oder unter der Schicht 21 angeordneten hohlzylinderförmigen Schicht in Umfangsrichtung des Gradientenspulensystems 20 lediglich um  $90^\circ$  verdreht angeordnet ist.

Die Figur 3 zeigt als ein Ausführungsbeispiel der Erfindung in einer perspektivischen Ansicht das Gradientenspulensystem 20 des Magnetresonanzgeräts mit länglich ausgebildeten Versteifungselementen 31 bis 34. Die Versteifungselemente 31 bis 34 sind dabei in Umfangsrichtung des Gradientenspulensystems 20 derart heterogen verteilt angeordnet sind, dass wenigstens die Biegeschwingung des Gradientenspulensystems 20 reduziert

ist. Neben den Sattellückenlinien 26 und 27 der in der Figur 2 dargestellten transversalen Gradientenspule sind auch die Sattellückenlinien 28 und 29 der weiteren transversalen Gradientenspule eingezeichnet. Im Wesentlichen in den Bereichen um die Sattellückenlinien 26 bis 29 herum sind Versteifungselemente in der Ausbildung als Fasern oder Faserbündel aus Kohle-, Glas- und/oder Aramidfasern in das vergossene Gradientenspulensystem 20 mit eingegossen.

- Die um die Sattellinie 27 herum angeordneten Versteifungselemente 33 und 34 sind dabei im wesentlichen parallel zur Sattellückenlinie 27 bzw. zur Hohlzylinderhauptachse 17 angeordnet. Die um die Sattellinie 26 herum angeordneten Versteifungselemente 31 und 32 weisen dahingegen einen Längsverlauf auf, der die Sattellückenlinie 26 bzw. wenigstens eine zur Hohlzylinderhauptachse 17 parallele Gerade schneidet. Das Versteifungselement 32 ist dabei an den Stirnseiten des Gradientenspulensystems 20 aus einer Vergüßmatrix des Gradientenspulensystems 20 herausgeführt. An einer Stirnseite ist das Versteifungselement 32 dabei durch ein lochscheibenartig ausgebildetes aktives Element 43, beispielsweise ein piezoelektrisches Element, und einen lochscheibenartigen Flansch 53 geführt, wobei das Ende des Versteifungselements 32 derart verdickt ausgebildet ist, dass es auch unter einer entsprechenden Zugbelastung nicht durch die Öffnung des Flansches 53 ziehbar ist. Das aktive Element 43 ist dabei als Sensor und/oder Aktor betreibbar. Beim sensorischen Betrieb ist über eine entsprechende Dehnung bzw. Stauchung des aktiven Elements 43 die mechanische Spannung des Versteifungselements 32 erfassbar, womit beispielsweise für einen zeitlich nachfolgenden Schwingungszyklus optimale mechanische Spannungen des Versteifungselements 32 und/oder 31 ermittelbar sind. Beim aktorischen Betrieb kann durch ein entsprechendes Steuern der Verformung des aktiven Elements 43 die mechanische Spannung des Versteifungselements 32 geändert werden. Dies kann auch dynamisch während einem Betrieb des Gradientenspulensystems 20 durchgeführt werden. An der anderen Stirnseite ist das



Versteifungselement 32 unter Verzicht eines aktiven Elements lediglich durch einen lochscheibenartigen Flansch 54 geführt. Das Versteifungselement 31 weist gegenüber dem Versteifungselement 32 an beiden Stirnseiten aktive Elemente 41 und 42 auf, wobei die aktiven Elemente 41 und 42 wiederum als Sensor und/oder Aktor betreibbar sind.

Entsprechend den um die Sattellückenlinien 26 und 27 herum angeordneten Versteifungselementen 31 bis 34 sind weitere Versteifungselemente um die Sattellückenlinien 28 und 29 der weiteren transversalen Gradientenspule herum angeordnet, die aus Gründen der Übersichtlichkeit in Figur 3 nicht dargestellt sind. Ferner werden in einer Ausführungsform beim Herstellen des Gradientenspulensystems 20 die Versteifungselemente 31 bis 34 mit einer festen mechanischen Vorspannung eingegossen.

## Patentansprüche

1. Gradientenspulensystem (20) für ein Magnetresonanzgerät, wobei das Gradientenspulensystem (20) länglich ausgebildete Versteifungselemente (31 bis 34) umfasst, die im Gradientenspulensystem (20) derart heterogen angeordnet sind, dass wenigstens eine bei Betrieb des Magnetresonanzgeräts anregbare Schwingungsform des Gradientenspulensystems (20) reduziert ist.
2. Gradientenspulensystem (20) nach Anspruch 1, wobei das Gradientenspulensystem (20) vergossen ist und wenigstens ein Abschnitt eines der Versteifungselemente (31 bis 34) mit vergossen ist.
3. Gradientenspulensystem (20) nach einem der Ansprüche 1 oder 2, wobei wenigstens eines der Versteifungselemente (31 bis 34) eine Faser oder ein Bündel von Fasern umfasst.
4. Gradientenspulensystem (20) nach Anspruch 3, wobei wenigstens eine der Fasern als eine Glas-, Kohle- oder Aramidfaser ausgebildet ist.
5. Gradientenspulensystem (20) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei wenigstens eines der Versteifungselemente (31 bis 34) eine mechanische Vorspannung aufweist.
6. Gradientenspulensystem (20) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei wenigstens einem der Versteifungselemente (31, 32) eine Vorrichtung (41 bis 43) zum steuerbaren Einstellen einer mechanischen Spannung des Versteifungselements (31, 32) zugeordnet ist.
7. Gradientenspulensystem (20) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei wenigstens einem der Versteifungselemente (31, 32) eine weitere Vorrichtung (41 bis 43) zum Erfassen einer

mechanischen Spannung des Versteifungselements (31, 32) zugeordnet ist.

5 8. Gradientenspulensystem (20) nach einem der Ansprüche 6 oder 7, wobei wenigstens eine der Vorrichtungen (41 bis 43) ein piezoelektrisches Element umfasst.

10 9. Gradientenspulensystem (20) nach einem der Ansprüche 6 bis 8, wobei wenigstens eine der Vorrichtungen (41 bis 43) an wenigstens einem Längsende wenigstens eines der Versteifungselemente (31, 32) angeordnet ist.

15 10. Gradientenspulensystem (20) nach einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei das Gradientenspulensystem (20) in etwa rotationssymmetrisch ausgebildet ist.

20 11. Gradientenspulensystem (20) nach Anspruch 10, wobei die Versteifungselemente (31 bis 34) auf einem geschlossenen Umlauf in Rotationsrichtung heterogen angeordnet sind.

25 12. Gradientenspulensystem (20) nach einem der Ansprüche 10 oder 11, wobei wenigstens eines der Versteifungselemente (31 bis 34) einen Längsverlauf aufweist, der das Gradientenspulensystem (20) in Rotationsachsenrichtung durchsetzt.

30 13. Gradientenspulensystem (20) nach einem der Ansprüche 10 bis 12, wobei wenigstens eines der Versteifungselemente (33, 34) einen Längsverlauf parallel zur Rotationsachse (17) aufweist.

35 14. Gradientenspulensystem (20) nach einem der Ansprüche 10 bis 12, wobei wenigstens eines der Versteifungselemente (31, 32) einen Längsverlauf aufweist, der wenigstens eine zur Rotationsachse (17) parallele Gerade schneidet.

15. Gradientenspulensystem (20) nach einem der Ansprüche 1 bis 14, wobei das Gradientenspulensystem (20) in etwa hohlzylinderförmig ausgebildet ist.


## Zusammenfassung

Magnetresonanzgerät mit einem Gradientenspulensystem mit Versteifungselementen

5

Ein Gradientenspulensystem (20) für ein Magnetresonanzgerät umfasst länglich ausgebildete Versteifungselemente (31 bis 34), die im Gradientenspulensystem (20) derart heterogen angeordnet sind, dass wenigstens eine bei Betrieb des Magnetresonanzgeräts anregbare Schwingungsform des Gradientenspulensystems (20) reduziert ist.

10

 Figur 3

15

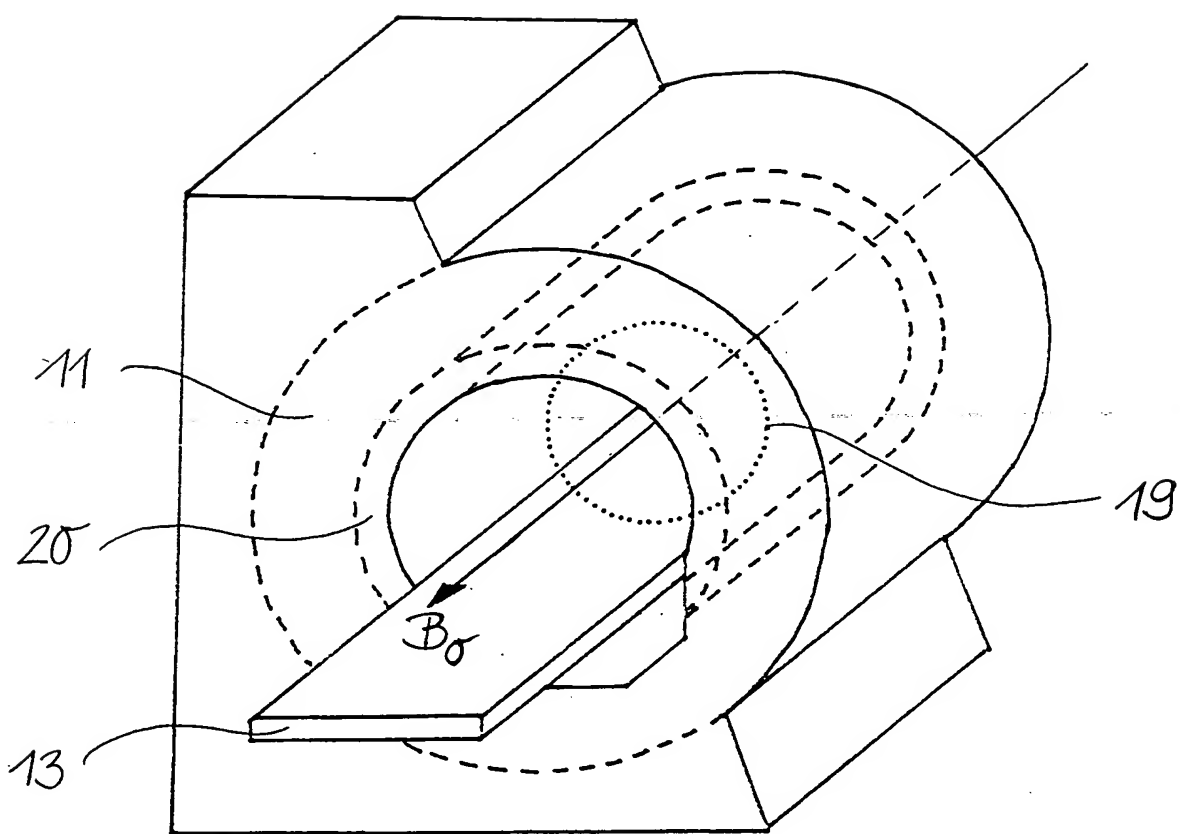


FIG 1

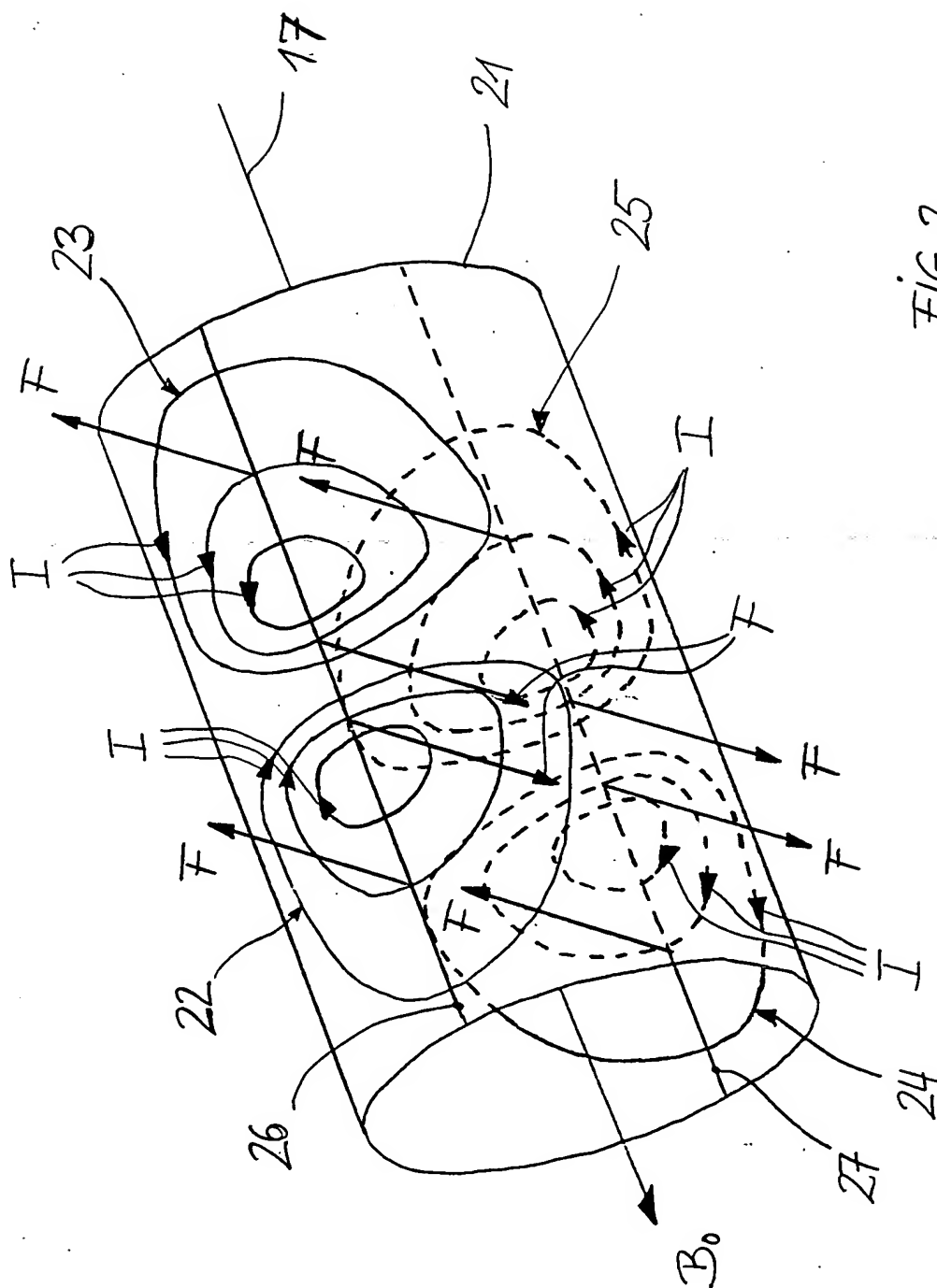


FIG 2

